



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑫ **Off nl gungsschrift**  
⑩ **DE 199 23 481 A 1**

⑤1 Int. Cl.7:  
**F 01 N 9/00**

②1 Aktenzeichen: 199 23 481.7  
②2 Anmeldetag: 21. 5. 1999  
④3 Offenlegungstag: 23. 11. 2000

DE 199 23 481 A 1

⑦1 Anmelder:  
Volkswagen AG, 38440 Wolfsburg, DE

⑦2 Erfinder:  
Pott, Ekkehard, Dr., 38518 Gifhorn, DE; Held,  
Wolfgang, Dr., 38448 Wolfsburg, DE; Gottschling,  
Martina, 38118 Braunschweig, DE; Hahn, Hermann,  
38165 Lehre, DE

⑤6 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
zu ziehende Druckschriften:

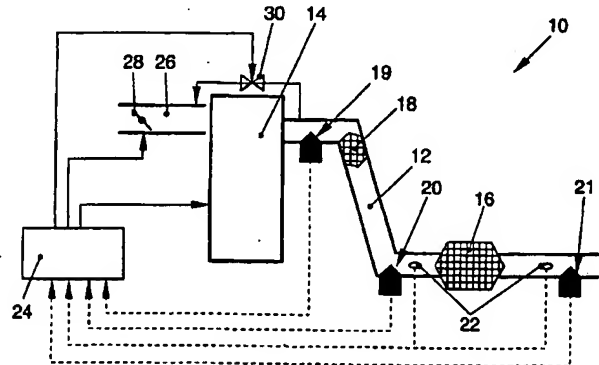
DE 197 47 222 C1  
DE 198 37 074 A1  
DE 197 31 624 A1  
DE 197 31 131 A1  
DE 197 06 608 A1  
EP 09 11 498 A2  
EP 08 92 158 A2  
EP 08 91 806 A2

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

⑤4 Verfahren zur Entschwefelung von wenigstens einem in einem Abgaskanal einer Verbrennungskraftmaschine angeordneten NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysator

⑤7 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Entschwefelung von wenigstens einem in einem Abgaskanal einer Verbrennungskraftmaschine angeordneten NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysator mit wenigstens einem stromab des NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysators angeordneten Gassensor, wobei nach Feststellung einer Entschwefelungsnotwendigkeit zur Entschwefelung eine Mindesttemperatur am NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysator und ein fetter Arbeitsmodus der Verbrennungskraftmaschine mit  $\lambda < 1$  durch eine zumindest temporäre Beeinflussung wenigstens eines Betriebsparameters der Verbrennungskraftmaschine eingestellt wird. Es ist vorgesehen, daß

a) in einer ersten Phase ( $t_1$ ) nach Feststellung der Entschwefelungsnotwendigkeit und Vorliegen der Mindesttemperatur die Verbrennungskraftmaschine (14) zunächst so lange auf einen mageren Arbeitsmodus mit  $\lambda > 1$  eingestellt wird, bis an dem Gassensor (21) ein vorgebbare erster Schwellenwert ( $S_m$ ) für Lambda erreicht wird und  
b) in einer zweiten Phase ( $t_2$ ) nach Erreichen des ersten Schwellenwertes ( $S_m$ ) die Verbrennungskraftmaschine (14) auf den fetten Arbeitsmodus mit  $\lambda < 1$  eingestellt wird, bis an dem Gassensor (21) ein vorgebbare zweiter Schwellenwert ( $S_f$ ) für Lambda erreicht wird und  
c) die erste Phase ( $t_1$ ) und nachfolgend die zweite Phase ( $t_2$ ) so lange wiederholt werden, bis ein vorgebbare Verschwefelungsgrad erreicht wird.



DE 199 23 481 A 1

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Entschwefelung von wenigstens einem in einem Abgaskanal einer Verbrennungskraftmaschine angeordneten  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysator mit den im Oberbegriff des Anspruchs 1 genannten Merkmalen.

Verfahren zur Entschwefelung von  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysatoren sind bekannt. Dabei müssen während der Entschwefelung sogenannte Regenerationsparameter, wie eine Mindesttemperatur am  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysator und ein Arbeitsmodus der Verbrennungskraftmaschine, mit  $\lambda \leq 1$  eingestellt werden.

Unter einem Arbeitsmodus der Verbrennungskraftmaschine mit  $\lambda < 1$  überwiegt eine Konzentration reduzierender Gaskomponenten, wie  $\text{CO}$ ,  $\text{HC}$  oder  $\text{H}_2$ , eine Konzentration von Sauerstoff (fette Atmosphäre). Bei  $\lambda > 1$  ist die Sauerstoffkonzentration dominierend, und es wird vermehrt  $\text{NO}_x$  gebildet (magere Atmosphäre). Während eines Betriebes der Verbrennungskraftmaschine in magerer Atmosphäre wird neben  $\text{NO}_x$  durch eine Verbrennung wechselnder Schwefelanteile im Kraftstoffgemisch,  $\text{SO}_2$  gebildet. Dieses wird ebenso wie das  $\text{NO}_x$  in magerer Atmosphäre von dem  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysator absorbiert, wobei die  $\text{SO}_2$ -Absorption zur Bildung von lokalen Inhomogenitäten infolge einer Sulfatkornbildung führen kann. Dieser Prozeß führt zu einer Reduzierung einer katalytisch aktiven Oberfläche und einer verringerten Kapazität des  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysators und bietet einen Angriffspunkt für korrosive Prozesse, die eine dauerhafte Schädigung des  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysators nach sich ziehen können.

Es ist daher bekannt, die Entschwefelung in wiederkehrenden Zyklen zu initiieren, wobei eine Feststellung einer Entschwefelungsnotwendigkeit anhand eines vorgebbaren Verschweifungsgrades des  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysators festgelegt werden kann. Ein solcher Verschweifungsgrad läßt sich beispielsweise anhand eines  $\text{NO}_x$ -Umsatzes bestimmen, bei dem ein Quotient aus einer Konzentration von  $\text{NO}_x$  vor dem  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysator und nach dem  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysator gebildet wird. Nach Feststellung der Entschwefelungsnotwendigkeit werden dann geeignete Maßnahmen, beispielsweise eine Spätzündung, eine Nacheinspritzung von während oder nach eines Verbrennungsvorganges oder eine zylinderselektive Vertrimmung der Verbrennungskraftmaschine, durchgeführt, um die Regenerationsparameter einzustellen.

Eine Entschwefelungszeit ist dabei einerseits abhängig von der Höhe der Temperatur, die selbstverständlich auch über einer Mindesttemperatur liegen kann, und andererseits von einer Lage des Lambdawertes. Bei steigenden Temperaturen und/oder sinkenden Lambdawerten verkürzt sich die Entschwefelungszeit. Allerdings wird bei sehr niedrigen Lambdawerten überwiegend  $\text{H}_2\text{S}$  gebildet, während bei Lambdawerten knapp unter 1 überwiegend  $\text{SO}_2$  entsteht. Eine Bildung von  $\text{H}_2\text{S}$  sollte nach Möglichkeit unterdrückt werden, da diese geruchsintensiv und ausgesprochen giftig ist. Zudem ist ein vollständiger Umsatz der reduzierenden Gaskomponenten bei sehr niedrigen Lambdawerten nicht mehr möglich, so daß ein Schadstoffdurchbruch nicht vermieden werden kann.

Es ist bekannt, die Bildung von  $\text{H}_2\text{S}$  durch eine periodische Beaufschlagung des  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysators mit magerem und fettem Abgas zu unterdrücken. Da die  $\text{SO}_2$ -Bildung kinetisch gegenüber der  $\text{H}_2\text{S}$ -Bildung bevorzugt ist, kann durch Wahl einer hinreichend hohen Lambda-Wobblenfrequenz die  $\text{H}_2\text{S}$ -Bildung weitestgehend unterdrückt werden. Dabei ist nachteilig, daß sich die Entschwefelungszeit deutlich verlängert, und daß ein sich laufend ändernder Ka-

talysatorzustand nicht berücksichtigt wird. So können Alterungserscheinungen, wie beispielsweise eine Abnahme einer Sauerstoffspeicherfähigkeit, nicht berücksichtigt werden.

Dem erfindungsgemäßen Verfahren liegt die Aufgabe zugrunde, die Entschwefelung unter Berücksichtigung zeitlich veränderlicher Katalysatorzustände durchzuführen. Dabei soll einerseits die  $\text{H}_2\text{S}$ -Bildung weitestgehend unterdrückt werden und andererseits die Entschwefelungszeit möglichst gering gehalten werden, so daß ein Kraftstoffmehrerbrauch infolge der Entschwefelung reduziert werden kann.

Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe durch das Verfahren zur Entschwefelung mit den im Anspruch 1 genannten Merkmalen gelöst. Dadurch, daß in einer ersten Phase nach Feststellung der Entschwefelungsnotwendigkeit und Vorliegen der Mindesttemperatur die Verbrennungskraftmaschine zunächst so lange auf einen mageren Arbeitsmodus der Verbrennungskraftmaschine mit  $\lambda > 1$  eingestellt wird, bis an dem Gassensor ein vorgebbarer erster Schwellenwert für Lambda erreicht wird, und in einer zweiten Phase nach Erreichen des ersten Schwellenwertes die Verbrennungskraftmaschine auf den fetten Arbeitsmodus mit  $\lambda < 1$  eingestellt wird, bis an dem Gassensor ein vorgebbarer zweiter Schwellenwert für Lambda erreicht wird, und die erste Phase und nachfolgend die zweite Phase so lange wiederholt werden, bis ein vorgebbarer Verschweifungsgrad erreicht wird, kann die Entschwefelung mit sehr kurzen Entschwefelungszeiten und unter Bildung von weitestgehend nur  $\text{SO}_2$  vollzogen werden. Weiterhin hat es sich als vorteilhaft erwiesen, daß während der Entschwefelung eine Edelmetalldeaktivierung durch Sulfidbildung wesentlich geringer gehalten werden kann als bei einer Entschwefelung nach einem herkömmlichen Verfahren.

In einer bevorzugten Ausgestaltung des Verfahrens werden die Betriebsparameter der Verbrennungskraftmaschine derart eingestellt, daß sie einen frei applizierbaren Sollwert für Lambda vor dem  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysator gewähren. Der Sollwert wird dabei als ein Kompromiß zwischen einer kurzen Entschwefelungszeit und einem geringen Übersteuern über die Schwellenwerte gewählt.

In einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung des Verfahrens werden in jedem neuen Zyklus der Entschwefelung – also in der ersten und zweiten Phase – die Sollwerte und/oder die Schwellenwerte neu festgelegt. Diese können dann in Abhängigkeit von einer aktuell gespeicherten Schwefelmasse, einer Schwefelmasse zu Beginn der Entschwefelung, einer Katalysatortemperatur oder einer Dauer der ersten und zweiten Phase variiert werden. Denkbar ist weiterhin, während der Entschwefelung die Temperatur sowie die Schwellenwerte zu variieren. Durch die gezeigten Maßnahmen kann die Entschwefelung wesentlich dynamischer an den aktuellen Katalysatorzustand angepaßt werden.

Bevorzugt ist ferner, eine Berechnung der Sauerstoffspeicherfähigkeit zur Festlegung der Schwellenwerte und/oder Sollwerte heranzuziehen. Dabei hat es sich als besonders vorteilhaft erwiesen, den Sollwert für den Arbeitsmodus mit  $\lambda < 1$  in Abhängigkeit von der berechneten Sauerstoffspeicherfähigkeit zu gestalten. So kann beispielsweise ab einem vorgebbaren Restsauerstoffgehalt des  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysators der Sollwert in Richtung  $\lambda = 1$  geändert werden, so daß das Übersteuern über den Schwellenwert geringgehalten werden kann. Damit sind auch mögliche Schadstoffdurchbrüche der reduzierenden Gaskomponenten weitestgehend unterdrückt.

Weitere bevorzugte Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus den übrigen, in den Unteransprüchen genannten Merkmalen.

Die Erfindung wird nachfolgend in Ausführungsbeispielen

len anhand der zugehörigen Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 eine Anordnung eines Katalysatorsystems in einem Abgaskanal einer Verbrennungskraftmaschine;

Fig. 2 einen Verlauf von Lambda vor und hinter einem  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysator während einer Entschwefelung und

Fig. 3 einen Verlauf von Lambda vor und hinter einem  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysator während der Entschwefelung unter Berücksichtigung einer Sauerstoffspeicherfähigkeit.

In der Fig. 1 ist in schematischer Weise eine Anordnung eines Katalysatorsystems 10 in einem Abgaskanal 12 einer Verbrennungskraftmaschine 14 dargestellt. Das Katalysatorsystem 10 umfaßt einen  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysator 16 und einen Vorkatalysator 18 sowie diverse Temperatursensoren 22. Weiterhin befinden sich Gassensoren 19, 20, 21 in dem Abgaskanal 12, die zur Erfassung wenigstens einer Gaskomponente eines Abgases der Verbrennungskraftmaschine dienen und ein Signal entsprechend einem Gehalt der Gaskomponente am Abgas bereitstellen. Solche Gassensoren 19, 20, 21 sind bekannt und können beispielsweise  $\text{NO}_x$ -Sensoren oder Lambdasonden sein.

Ein Arbeitsmodus der Verbrennungskraftmaschine 14 kann mittels eines Motorsteuergerätes 24 geregelt werden. Wird beispielsweise ein Arbeitsmodus mit  $\lambda < 1$  (fette Atmosphäre) gewünscht, so muß eine Sauerstoffkonzentration in einem Saugrohr 26 vor einer Verbrennung eines Kraftstoff-Luft-Gemisches gesenkt werden. Damit erhöhen sich die Anteile reduzierender Gaskomponenten im Abgas im Vergleich zu einem Anteil an Sauerstoff. Beispielsweise kann ein solcher Arbeitsmodus durch eine Reduzierung eines Volumenstroms angesaugter Luft mittels einer Drosselklappe 28 und durch gleichzeitige Zuführung sauerstoffarmen Abgases über ein Abgasrückflußventil 30 erfolgen.

In einem Arbeitsmodus mit  $\lambda > 1$  (magere Atmosphäre) wird neben  $\text{NO}_x$  auch  $\text{SO}_2$  im  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysator 16 absorbiert, während die geringen Anteile reduzierender Gaskomponenten zumindest bei niedrigen Raumgeschwindigkeiten fast vollständig im Vorkatalysator 18 umgesetzt werden. In Abhängigkeit von einer  $\text{NO}_x$ -Speicherkapazität und einer Desorptionstemperatur des  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysators 16 muß die Verbrennungskraftmaschine 14 zur Regeneration mit  $\lambda \leq 1$  betrieben werden. In einem solchen Arbeitsmodus wird das zuvor absorbierte  $\text{NO}_x$  an einer katalytisch aktiven Oberfläche des  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysators 16 reduziert.

Ebenfalls absorbiertes  $\text{SO}_2$  wird in Form von Sulfat in dem  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysator 16 eingelagert, wobei allerdings eine Reversibilität dieses Einlagerungsprozesses im Gegensatz zu der Einlagerung von  $\text{NO}_x$  wesentlich höhere Temperaturen erfordert. Somit muß zur Entschwefelung eine Mindestentschwefelungstemperatur und ein Lambdawert  $\leq 1$  vorliegen (Regenerationsparameter).

Eine Entschwefelungsnotwendigkeit ergibt sich aus einer Effizienz des  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysators 16 für eine Konvertierungsreaktion von  $\text{NO}_x$ . Die Erfassung der Effizienz kann mit Hilfe des Gassensors 21 erfolgen, der eine  $\text{NO}_x$ -Konzentration hinter dem  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysator 16 mißt. Aufgrund von Erfahrungswerten oder über eine Messung der  $\text{NO}_x$ -Konzentration vor dem  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysator 16 – beispielsweise mit mindestens einem der Gassensoren 19, 20 – kann auf diese Weise ein Verschwefelungsgrad und damit die Effizienz bestimmt werden. Über die Temperatursensoren 22 läßt sich eine aktuelle Temperatur (Katalysatortemperatur) am  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysator 16 erfassen, während der aktuelle Lambdawert vor dem  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysator 16 wiederum über zumindest einen der Gassensoren 19 und/oder 20 bestimmbar ist.

Eine Entschwefelungszeit ist abhängig von der Temperatur am  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysator 16 und der Lage des Lambdawertes. Mit steigender Temperatur und sinkendem Lambdawert nimmt die Entschwefelungszeit ab. Die Temperatur kann dabei deutlich über der Mindesttemperatur liegen und kann entsprechend einem Temperaturmodell auch während der Entschwefelung geändert werden.

Bei sehr niedrigen Lambdawerten führt die Entschwefelung überwiegend zu  $\text{H}_2\text{S}$ , während bei Lambdawerten knapp unter 1 überwiegend  $\text{SO}_2$  gebildet wird. Da  $\text{H}_2\text{S}$  geruchsintensiv ist, soll dessen Bildung im erfindungsgemäßen Verfahren weitestgehend unterdrückt werden. Weiterhin ist nachteilig, daß bei sehr niedrigen Lambdawerten eine vollständige Umsetzung der reduzierenden Gaskomponenten nicht mehr möglich ist, und somit sogenannte Schadstoffdurchbrüche auftreten. Da die  $\text{H}_2\text{S}$ -Bildung kinetisch gehemmt ist gegenüber der  $\text{SO}_2$ -Bildung, kann über einen periodischen Wechsel des Arbeitsmodus der Verbrennungskraftmaschine die  $\text{H}_2\text{S}$ -Bildung zurückgedrängt werden.

In der Fig. 2 ist beispielhaft ein Verlauf eines Lambdawertes vor und hinter dem  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysator 16 dargestellt. Der Verlauf des Lambdawertes vor dem  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysator 16 (durchgezogene Linie) kann mittels des Gassensors 20 erfaßt werden, während der Gassensor 21 einen Verlauf des Lambdawertes hinter dem  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysator 16 wiedergibt (gestrichelte Linie). Wenn zu einem Zeitpunkt  $T_0$  die Entschwefelungsnotwendigkeit festgestellt wird und beispielsweise noch nicht die Mindesttemperatur erreicht wurde, so kann in einer Aufheizphase  $t_0$  durch eine zumindest temporäre Beeinflussung wenigstens eines Betriebsparameters der Verbrennungskraftmaschine 14 eine Abgastemperatur erhöht werden. Dazu wird die üblicherweise zur Minderung eines Kraftstoffverbrauchs in dem mageren Arbeitsmodus betriebene Verbrennungskraftmaschine 14 auf einen Arbeitsmodus mit  $\lambda = 1$  eingestellt, da das Abgas hier eine höhere Temperatur aufweist. Ein solches Vorgehen ist bekannt und soll hier nicht näher erläutert werden.

Nach Erreichen der Mindesttemperatur zu einem Zeitpunkt  $T_1$  wird während der Phase  $t_1$  die Verbrennungskraftmaschine 14 derart geregelt, daß sich vor dem  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysator 16 ein Lambdawert entsprechend einem vorgebbaren Sollwert  $W_m$  einstellt. Der Sollwert  $W_m$  sollte dabei in einem Lambdabereich von 1,02 bis 4,00, bevorzugt 1,05 bis 1,7, insbesondere 1,15 bis 1,4, liegen.

Eine Änderung des Lambdawertes hinter dem  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysator 16 findet zeitverzögert statt. Dabei basiert diese Zeitverzögerung nicht nur auf einem Totvolumen des  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysators 16, sondern ist auch abhängig von einer Aus- und Einlagerung des Sauerstoffs in den  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysator 16. In einem Bereich 40 steigt dabei der Lambdawert hinter dem  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysator 16 steil an, wobei eine Steilheit des Anstiegs durch die Höhe des Sollwertes  $W_m$  bestimmbar ist. Je höher  $W_m$  liegt, um so steiler steigt der Bereich 40 an. Ab einem Zeitpunkt  $T_2$  erreicht der Lambdawert hinter dem  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysator 16 einen ersten Schwellenwert  $S_m$ , woraufhin die Verbrennungskraftmaschine 14 auf den fetten Arbeitsmodus eingestellt wird. Dabei wird wiederum ein Sollwert  $W_f$  für Lambda vor dem  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysator 16 festgelegt. Der Sollwert  $W_f$  liegt in einem Bereich von  $\lambda = 0,995$  bis 0,65, bevorzugt 0,99 bis 0,75, insbesondere 0,98 bis 0,85.

Der den Wechsel des Arbeitsmodus auslösende Schwellenwert  $S_m$  läßt sich über folgende Gleichung ermitteln, wobei der Schwellenwert  $S_m$  jedoch immer mindestens den Wert  $\lambda = 1,01$  aufweist:

$$\text{Schwellenwert } S_m = 1 + F \cdot (\text{Sollwert } W_m - 1)$$

Ein Faktor  $F$  liegt dabei in einem Bereich von 0,2 bis 0,99, bevorzugt 0,5 bis 0,9, insbesondere bei 0,6 bis 0,8.

Nach dem Wechsel des Arbeitsmodus ab dem Zeitpunkt  $T_2$  wird der  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysator 16 für eine Phase  $t_2$  mit der fetten Atmosphäre entsprechend dem Sollwert  $W_f$  beaufschlagt. Kurz nach dem Erreichen des Schwellenwertes  $S_m$  steigt der Lambdawert in einem Bereich 42 noch kurzfristig an, da sich der Wechsel des Arbeitsmodus nur zeitverzögert hinter dem  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysator 16 einstellt. In einem Bereich 44 fällt der Lambdawert hinter dem  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysator 16 steil ab bis zu einem Lambdawert = 1 (Bereich 46). Dabei verharrt der Wert nahe  $\lambda = 1$  in dem Bereich 46 so lange, bis ab einem Punkt 48 der im  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysator 16 gespeicherte Sauerstoff und das zumindest teilweise zeitlich überlappend freigesetzte  $\text{SO}_x$  soweit reduziert sind, daß das Lambdasignal allmählich in Richtung des Sollwertes  $W_f$  abdriftet (Bereich 50).

Der den erneuten Wechsel des Arbeitsmodus auslösende Schwellenwert  $S_f$  liegt dabei bevorzugt bei  $\lambda = 0,998$  bis 0,95, ist dabei jedoch stets größer als der Sollwert  $W_f$  für den fetten Arbeitsmodus. In letzterem Fall ist er insbesondere über die folgende Gleichung festlegbar:

$$\text{Schwellenwert } S_f = \text{Sollwert } W_f + 0,1 \cdot (1,0 - \text{Sollwert } W_f)$$

Beim Erreichen oder Unterschreiten eines vorgebbaren zweiten Schwellenwertes  $S_f$  wird die Verbrennungskraftmaschine 14 unter magerer Atmosphäre betrieben, und zwar entsprechend dem Sollwert  $W_m$ . Volumenbedingt fällt in einem Bereich 52 der Lambdawert hinter dem  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysator 16 noch für kurze Zeit, um dann anschließend in einem Bereich 54 wieder anzusteigen. Eine Steilheit des Anstiegs im Bereich 54 wird dabei nicht nur durch die Lage des Sollwertes  $W_m$  bestimmt, sondern auch durch eine zusätzliche Sauerstoffeinlagerung in den  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysator 16. Ab einem Punkt 56 ist eine Sauerstoffspeicherkapazität erschöpft, und daher steigt der Lambdawert in dem sich anschließenden Bereich 58 steiler an.

Ab dem Schwellenwert  $S_m$  wird dann wieder die Phase  $t_2$  eingeleitet, das heißt, ein Wechsel in fette Atmosphäre initiiert. Phase  $t_1$  und Phase  $t_2$  wiederholen sich so oft, bis ein vorgebbarer Verschmelungsgrad erreicht wird und dann die Verbrennungskraftmaschine 14 wieder in einem Normalbetrieb geschaltet wird.

Die Fig. 3 zeigt eine bevorzugte Ausgestaltung des Verfahrens anhand der Verläufe von Lambda vor und hinter dem  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysator 16. Dabei zeigen die ersten beiden Phasen  $t_1$  und  $t_2$  einen Verlauf, wie er bereits in der Fig. 2 geschildert wurde, und sind hier zur Verdeutlichung der bevorzugten Ausgestaltung nochmals mitaufgenommen worden. Die sich hieran anschließende Phase  $t_2'$  wird nun in Abhängigkeit von einer berechneten Sauerstoffspeicherkapazität beeinflusst.

Die Berechnung der Sauerstoffspeicherkapazität läßt sich auf bekannte Weise unter Berücksichtigung von einem Katalysatorvolumen, dem Lambdawert vor dem  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysator 16, der Katalysatortemperatur und einer Raumgeschwindigkeit des Abgases durchführen. Unter Berücksichtigung der berechneten Sauerstoffspeicherkapazität wird die Phase  $t_2'$  in mindestens zwei Abschnitte  $t_{21}'$  und  $t_{22}'$  aufgeteilt. Dabei wird eine Dauer des Abschnittes  $t_{21}'$  derart gewählt, daß in dieser Zeit 60% bis 99% des gespeicherten Sauerstoffs wieder entladen sind. Ab einem Zeitpunkt  $T_3$  findet ein Wechsel des Arbeitsmodus der Verbrennungskraftmaschine 14 in Richtung von  $\lambda = 1$  statt, wobei der  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysator 16 anschließend mit einem Lambdawert entsprechend einem vorgebbaren Sollwert  $W_{f2}$  beaufschlagt wird.

Infolge der in Richtung  $\lambda = 1$  verlagerten Sollwertvorgabe für den Abschnitt  $t_{22}'$  der Phase  $t_2'$  ändert sich auch die Steilheit des Abfalls des Lambdawertes hinter dem  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysator 16 in dem Bereich 50, da diese – wie bereits erläutert – im wesentlichen von der Lage eines aktuellen Sollwertes  $W$  abhängt. Damit wird aber auch das zeitverzögerte Übersteuern des Lambdawertes in dem Bereich 52 in seiner Höhe und in seiner Dauer gemindert. Auf diese Weise können Schadstoffdurchbrüche stark verringert werden. Zudem wird aufgrund der geringeren Übersteuerung die sich anschließende Phase  $t_1'$  verkürzt, so daß insgesamt die Entschwefelungszeit sinkt.

Die bevorzugte Aufteilung der Phase  $t_2$  kann in einem weiten Maße variabel gestaltet werden, wie es beispielhaft für die Phase  $t_{21}'$  am Ende des Zeitstrahles aufgezeigt ist. So kann ab einem Zeitpunkt  $T_6$  eine Einstellung des Sollwertes  $W_{f2}$  kontinuierlich erfolgen, so daß in einem Abschnitt  $t_{22}''$  ein rampenförmiger Anstieg des Lambdawertes vor dem  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysator 16 erfaßt werden kann. Ab einem Zeitpunkt  $T_7$  wird dann in einem Abschnitt  $t_{23}''$  der  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysator 16 mit einem Lambdawert entsprechend dem Sollwert  $W_{f2}$  beaufschlagt. Zwar wird die Phase  $t_2''$  durch den kontinuierlichen Wechsel von dem Sollwert  $W_{f1}$  auf den Sollwert  $W_{f2}$  geringfügig verlängert, jedoch können so Schadstoffdurchbrüche infolge eines zu späten Wechsels auf den Sollwert  $W_{f2}$ , beispielsweise durch eine fehlerhafte Berechnung des Punktes 48, an dem der Sauerstoff des  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysators 16 entladen ist, gemindert werden. Eine Anzahl von Abschnitten  $t$ , die kumuliert die Phase  $t_2$  bilden, kann selbstverständlich frei gewählt werden. Notwendige Randbedingung ist lediglich, daß der Lambdawert in den einzelnen aufeinanderfolgenden Abschnitten  $t$  ansteigt. Jedem einzelnen Abschnitt  $t$  ist dann ein konstanter oder gemäß einer vorgebbaren Funktion veränderlicher Sollwert  $W$  zugeordnet.

Nach Ablauf einer vorgebbaren Zeitspanne oder nach jedem einzelnen Zyklus (Phase  $t_1$  und Phase  $t_2$ ) wird wiederum die Entschwefelungsnotwendigkeit anhand des Verschmelungsgrades in bekannter Weise detektiert. Ist der Verschmelungsgrad hinreichend gering, so wird die Verbrennungskraftmaschine 14 wieder in den Normalbetrieb geschaltet. Liegen jedoch weiterhin ungünstige Verschmelungsgrade vor, so folgen wiederum Phasen  $t_1$  und  $t_2$ . Dabei können die einzelnen Abschnitte  $t$  der Phase  $t_2$  dem nun vorliegenden Katalysatorzustand neu angepaßt werden. Auf diese Weise lassen sich die Schadstoffdurchbrüche und die Entschwefelungszeit wiederum deutlich verringern.

In einer weiteren Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens können neben der Sauerstoffspeicherkapazität auch andere, den Katalysatorzustand charakterisierende Parameter zur Ausgestaltung der Phasen  $t_2$  und  $t_1$  herangezogen werden. So kann in jedem Zyklus die Lage der Sollwerte  $W$  in Abhängigkeit von einer aktuell gespeicherten Schwefelmasse, einer Schwefelmasse zu Beginn der Entschwefelung, der Katalysatortemperatur oder einer Dauer der vorangehenden Phasen  $t_1$  und  $t_2$  variiert werden. Ebenso können die Schwellenwerte  $S_m$  und  $S_f$  in Abhängigkeit von denselben genannten Parametern sowie in Abhängigkeit von den Sollwerten  $W$  variiert werden. Durch eine solche dynamische Anpassung an den aktuellen Katalysatorzustand ist eine weitere Optimierung der Entschwefelungszeit sowie eine weitere Reduzierung von Schadstoffdurchbrüchen möglich.

Weiterhin ist es denkbar, die Temperatur während der Entschwefelung zu variieren, insbesondere anzuheben. Ein solches Verfahren ist bekannt und soll in diesem Zusammenhang nicht näher erläutert werden.

1. Verfahren zur Entschwefelung von wenigstens einem in einem Abgaskanal einer Verbrennungskraftmaschine angeordneten  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysator mit wenigstens einem stromab des  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysators angeordneten Gassensor, wobei nach Feststellung einer Entschwefelungsnotwendigkeit zur Entschwefelung eine Mindesttemperatur am  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysator und ein fetter Arbeitsmodus der Verbrennungskraftmaschine mit  $\lambda < 1$  durch eine zumindest temporäre Beeinflussung wenigstens eines Betriebsparameters der Verbrennungskraftmaschine eingestellt wird, **dadurch gekennzeichnet**, daß

- a) in einer ersten Phase ( $t_1$ ) nach Feststellung der Entschwefelungsnotwendigkeit und Vorliegen der Mindesttemperatur die Verbrennungskraftmaschine (14) zunächst so lange auf einen mageren Arbeitsmodus mit  $\lambda > 1$  eingestellt wird, bis an dem Gassensor (21) ein vorgebbarer erster Schwellenwert ( $S_m$ ) für Lambda erreicht wird und
- b) in einer zweiten Phase ( $t_2$ ) nach Erreichen des ersten Schwellenwertes ( $S_m$ ) die Verbrennungskraftmaschine (14) auf den fetten Arbeitsmodus mit  $\lambda < 1$  eingestellt wird, bis an dem Gassensor (21) ein vorgebbarer zweiter Schwellenwert ( $S_f$ ) für Lambda erreicht wird und
- c) die erste Phase ( $t_1$ ) und nachfolgend die zweite Phase ( $t_2$ ) so lange wiederholt werden, bis ein vorgebbarer Verschwefelungsgrad erreicht wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Verbrennungskraftmaschine (14) während der ersten Phase ( $t_1$ ) auf einen mageren Arbeitsmodus entsprechend wenigstens einem Sollwert ( $W_m$ ) eingestellt wird und während der zweiten Phase ( $t_2$ ) die Verbrennungskraftmaschine (14) in einem fetten Arbeitsmodus entsprechend wenigstens einem Sollwert ( $W_f$ ) eingestellt wird (Sollwerte W).

3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Sollwert ( $W_f$ ) in einem Bereich von  $\lambda = 0,65$  bis 0,995, bevorzugt 0,75 bis 0,99, insbesondere 0,85 bis 0,98, liegt.

4. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Sollwert ( $W_m$ ) in einem Bereich von  $\lambda = 1,02$  bis 4, bevorzugt 1,05 bis 1,7, insbesondere 1,15 bis 1,4, liegt.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Schwellenwert ( $S_m$ ) nach der Formel

$$S_m = 1 + f \cdot \frac{W_f}{W_m} - 1$$

mit einem Faktor f in einem Bereich von 0,2 bis 0,99, bevorzugt 0,5 bis 0,9, insbesondere 0,6 bis 0,8, berechnet wird, wobei der Schwellenwert  $S_m$  mindestens bei  $\lambda = 1,01$  liegt.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Schwellenwert ( $S_f$ ) nach der Formel

$$S_f = W_f + 0,1 \cdot \frac{W_m}{W_f}$$

berechnet wird und in einem Lambdabereich von 0,95 bis 0,998 liegt.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Sollwerte (W) in

Abhängigkeit von einem Katalysatorzustand charakterisierenden Parametern eingestellt werden.

8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß als Parameter des Katalysatorzustands eine aktuell gespeicherte Schwefelmasse, eine Schwefelmasse zu Beginn der Entschwefelung, eine Katalysatortemperatur, eine Sauerstoffspeicherkapazität oder eine Kombination derselben gewählt wird.

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Sollwerte (W) in Abhängigkeit von einer Dauer der Phasen ( $t_1$  und  $t_2$ ) festgelegt werden.

10. Verfahren nach den Ansprüchen 7 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Phase ( $t_2$ ) in Abhängigkeit von den den Katalysatorzustand charakterisierenden Parametern in wenigstens zwei Abschnitte (t) aufgeteilt wird, wobei jedem einzelnen Abschnitt (t) ein konstanter oder gemäß einer vorgebbaren Funktion veränderlicher Sollwert (W) zugeordnet wird und die Sollwerte in den einzelnen aufeinanderfolgenden Abschnitten (t) ansteigen.

11. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß eine Dauer der einzelnen Abschnitte (t) in Abhängigkeit von den den Katalysatorzustand charakterisierenden Parametern festgelegt wird.

12. Verfahren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß eine Dauer eines ersten Abschnitts ( $t_{21}$ ) der Phase ( $t_2$ ) derart festgelegt wird, daß in dieser Zeit 60 bis 99% einer in dem  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysator (16) gespeicherten Sauerstoffmasse desorbiert ist.

13. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Entschwefelung temperaturmoduliert wird.

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

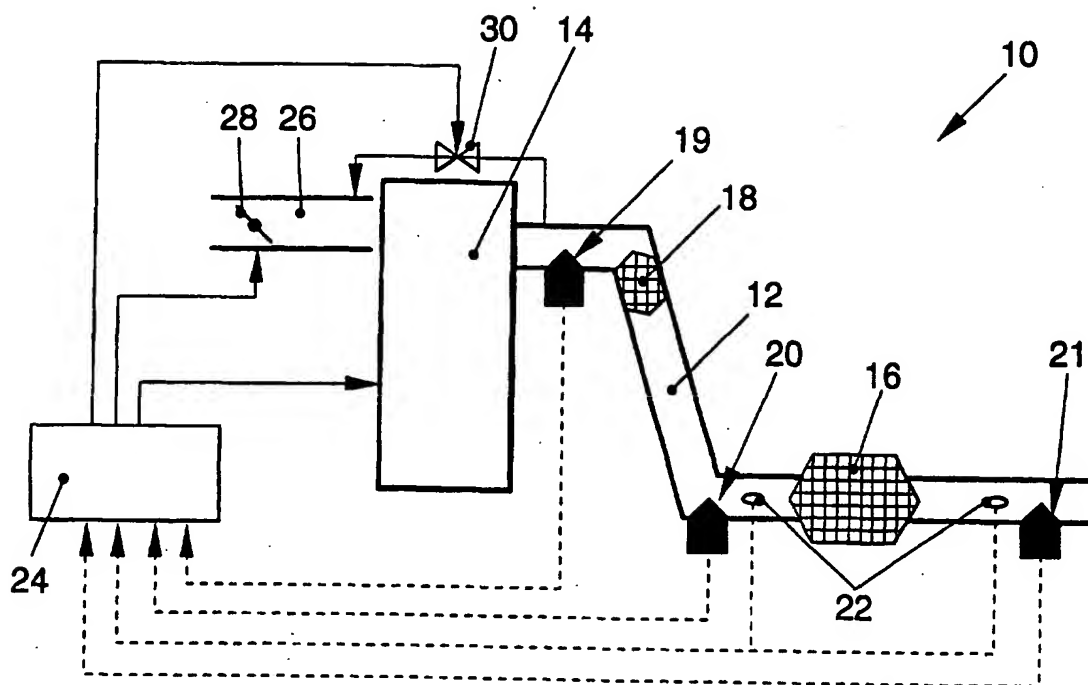


FIG. 1

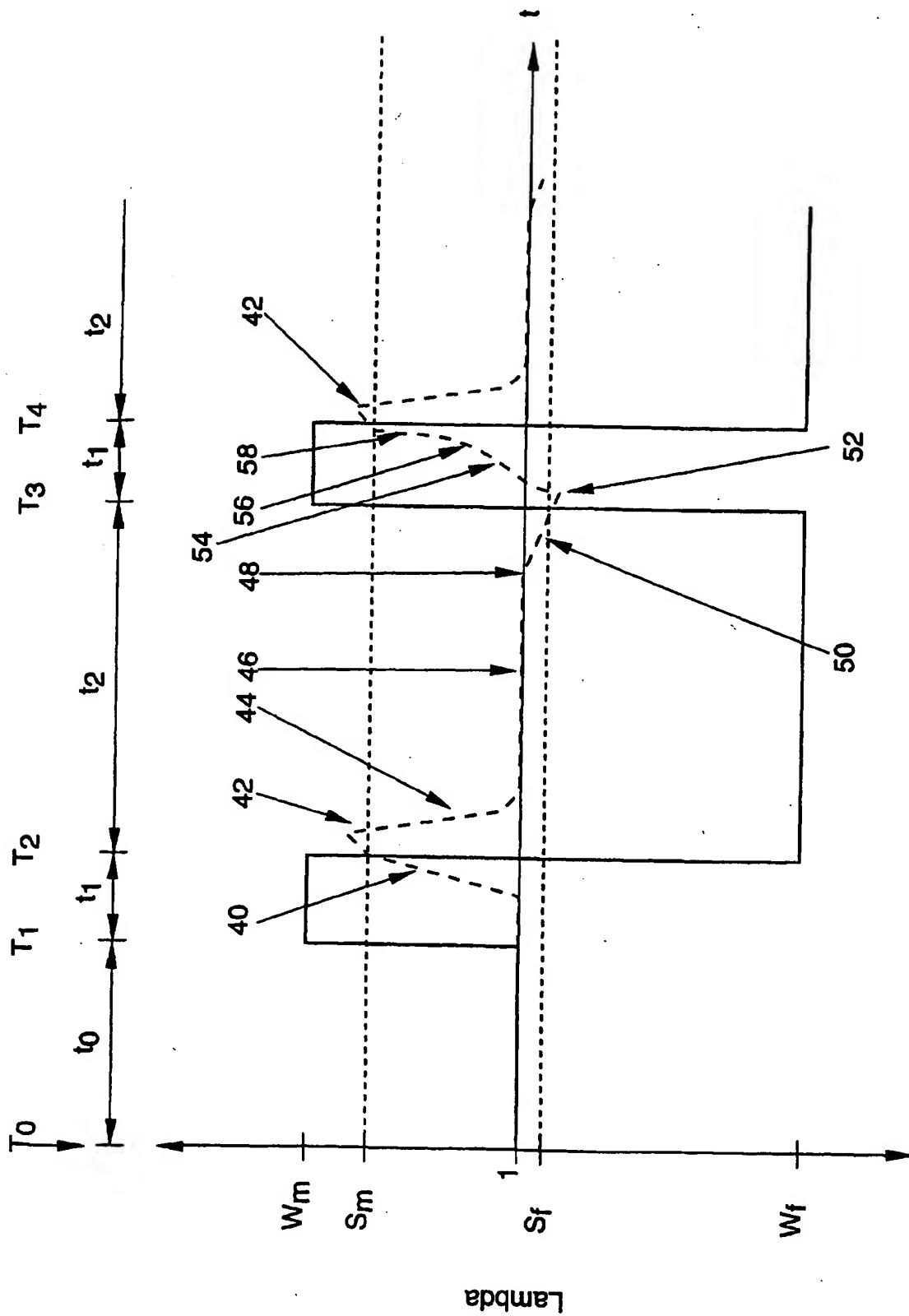


FIG. 2

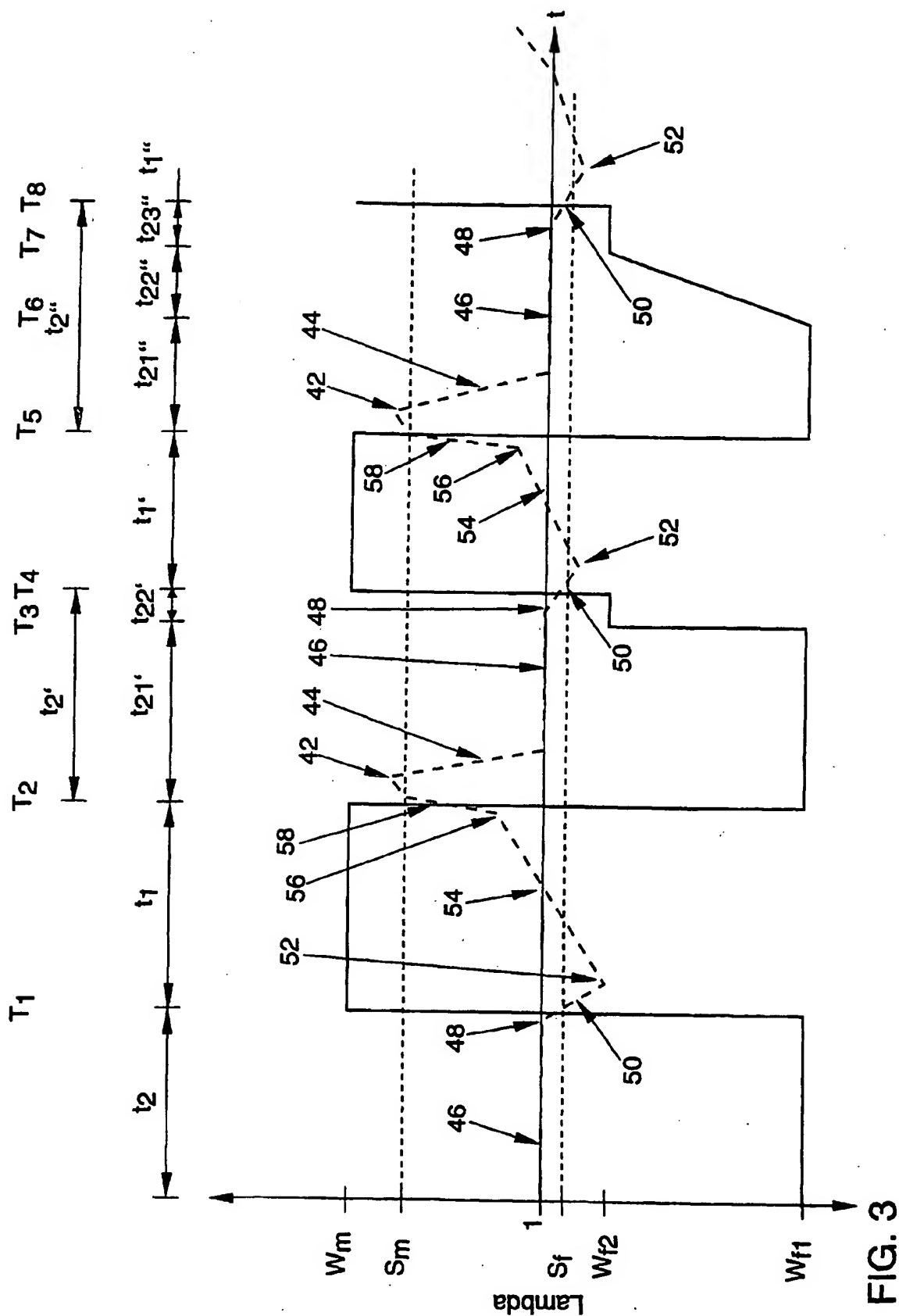


FIG. 3



**METHOD FOR THE DE-SULPHURIZATION OF AT LEAST ONE NO<sub>x</sub>-STORAGE  
CATALYST LOCATED IN AN EXHAUST-GAS CHANNEL OF AN INTERNAL  
COMBUSTION ENGINE**

The invention concerns a method for the desulphurization of at least one NO<sub>x</sub> storage catalyst located in an exhaust-gas channel of an internal combustion engine with at least one gas sensor placed downstream of the NO<sub>x</sub> storage catalyst, in which upon determining the need for desulphurization, a minimum temperature is set on the NO<sub>x</sub> storage catalyst and a rich operating mode of the internal combustion engine with  $\lambda < 1$  is set by at least temporarily influencing at least one operating parameter of the internal combustion engine. It is provided that

- a) In a first phase ( $t_1$ ) after determination of the desulphurization need and the presence of the minimum temperature, the internal combustion engine (14) is initially set to a lean operating mode with  $\lambda > 1$  until a specified first threshold value ( $S_m$ ) for lambda is reached on the gas sensor (21), and
- b) in a second phase ( $t_2$ ) after reaching the first threshold value ( $S_m$ ), the internal combustion engine (14) is operated in a rich mode with  $\lambda < 1$  until a specified, second threshold value ( $S_f$ ) for lambda is reached at the gas sensor (21); and
- c) the first phase ( $t_1$ ) and then the second phase ( $t_2$ ) are repeated until a specified sulphurization (thionation) level is reached.

## DESCRIPTION

The invention concerns a method for the desulphurization of at least one N0x storage catalyst located in an exhaust-gas channel of an internal combustion engine with the generic terms of the characteristics described in claim 1.

Methods for the desulphurization of N0x storage catalysts are known. Hereby, so-called regeneration parameters, such as a minimum temperature in the N0x storage catalyst and an operating mode of the internal combustion engine with  $\lambda \leq 1$  must be set during the desulphurization.

In an operating mode of the internal combustion engine with  $\lambda < 1$  are dominant a concentration of reducing-gas components such as CO, HC or H<sub>2</sub>, an oxygen concentration (rich atmosphere). With  $\lambda > 1$ , the oxygen concentration is dominant and increasingly N0x is formed (lean atmosphere). During operation of the internal combustion engine in a lean atmosphere, along with the N0x also SO<sub>2</sub> forms, due to the combustion of varying sulfur particles in the fuel mixture. Similarly to the N0x in the lean atmosphere, the SO<sub>2</sub> is absorbed by the N0x storage catalyst, whereby the SO<sub>2</sub> absorption can lead to the formation of local inhomogeneities as a result of the formation of sulfate grains. This process leads to a reduction of a catalytically active surface and a reduced capacity of the N0x storage catalyst, and provides the attack point for corrosive processes, which could lead to lasting damage of the N0x storage catalyst.

Therefore, desulphurization is known to be initiated in recurring cycles whereby the need for desulphurization is determined based on a specified sulphurization degree of the N0x storage catalyst. For example, such a sulphurization level can, for instance,

be determined based on an  $\text{NO}_x$  conversion whereby a quotient is developed from the  $\text{NO}_x$  concentration in front of the  $\text{NO}_x$  storage catalyst and behind the  $\text{NO}_x$  storage catalyst. Upon determination of the desulphurization need, the appropriate measures are taken, for instance a delayed ignition, a post-injection of or after a combustion process, or a cylinder-selective "Vertrimmung" of the internal combustion engine in order to set the regeneration parameters.

A desulphurization time is dependent, on the one hand, on the level of the temperature, which of course can be higher than a minimum temperature and, on the other, on the situation of the lambda value. With increasing temperatures and/or decreasing lambda values, the desulphurization time is reduced. However, with very low lambda values mostly  $\text{H}_2\text{S}$  is formed, while with lambda values just below 1 mostly  $\text{SO}_2$  forms. If possible, a formation of  $\text{H}_2\text{S}$  should be suppressed because it is odor-intensive and highly poisonous. Moreover, a full conversion of the reducing-gas components with very low lambda values is no longer possible so that the breakthrough of harmful chemicals cannot be prevented.

It is known to suppress the formation of  $\text{H}_2\text{S}$  by means of periodically loading the  $\text{NO}_x$  storage catalyst with lean and with rich exhaust gas. Since the  $\text{SO}_2$  formation is kinetically preferred over the  $\text{H}_2\text{S}$  formation, through selection of a sufficiently high lambda wobble frequency, the  $\text{H}_2\text{S}$  formation can, for the most part, be suppressed. The facts that the desulphurization time is clearly prolonged and that a continuously changing catalyst status is not taken into account are disadvantageous. Consequently, aging symptoms, such as for instance a reduced oxygen storage capacity, cannot be taken into consideration.

The objective of the invention is to perform the desulphurization by taking the— over time--changing catalyst conditions into consideration. Thereby, the H<sub>2</sub>S formation should be suppressed as much as possible and the desulphurization time should be kept as short as possible, so that the increase in fuel consumption as a result of the desulphurization can be reduced.

According to the invention, this task is accomplished by the desulphurization method with the characteristics described in claim 1. Due to the fact that in a first phase after the determination of the desulphurization need and the presence of the minimum temperature, the internal combustion engine is initially operated in a lean mode with  $\lambda > 1$  until a specified first target value for lambda is reached at the gas sensor, and in a second phase, upon reaching the first target value, the internal combustion engine is operated in a rich mode with  $\lambda < 1$  until a specified second target value for lambda is attained at the gas sensor, and the first phase and then the second phase are repeated until a specified sulphurization level is reached, the desulphurization can be carried out with very short desulphurization times and the formation of mainly SO<sub>2</sub>. Also advantageous is the fact that during the desulphurization, a precious-metal deactivation through a sulfite formation can be kept considerably lower than during a desulphurization process based on a conventional method.

In a preferred implementation of the method, the operating parameters of the internal combustion engine are set up so that they guarantee a freely applicable target value for lambda in front of the NO<sub>x</sub> storage catalyst. The target value should represent a compromise between a short desulphurization time and a slight oversteer over the target values.

In another preferred implementation of the method, in each new desulphurization cycle --i.e., in the first and second phase -- the target values and/or the threshold values must be determined anew. Then they can be varied as a function of an actually stored sulfur mass, a sulfur mass at the beginning of the desulphurization, a catalyst temperature, or the duration of the first and second phase. Furthermore, during the desulphurization it is also possible to vary the temperature as well as the threshold values. Through these measures, the desulphurization can be adapted much more dynamically to the actual catalyst status.

Furthermore, it is preferable to use a calculation of the oxygen storage capacity to determine the threshold values and/or target values. It proved especially advantageous to set the target value for the operating mode with  $\lambda < 1$  as a function of the calculated oxygen storage capacity. Thus, for instance, from a specified residual oxygen content of the NO<sub>x</sub> storage catalyst, the target value can be changed toward  $\lambda = 1$ , so that the oversteer beyond the threshold value can be kept low. The possible breakthrough of the toxic chemicals of the reducing-gas components can thereby, for the most part, be suppressed.

Other preferred implementations of the invention result from the additional characteristics mentioned in the subclaims.

The invention will now be described in detail based on the corresponding drawings.

Shown are in:

- Figure 1: the layout of the catalyst system in an exhaust-gas channel of an internal combustion engine.

- Figure 2: the Lambda curve in front of and behind an N0x storage catalyst during a desulphurization; and
- Figure 3: the lambda curve in front of and behind an N0x storage catalyst during a desulphurization by taking an oxygen storage capacity into consideration.

Figure 1 schematically shows the layout of a catalyst system 10 in an exhaust-gas channel 12 of an internal combustion engine 14. The catalyst system 10 includes an N0x storage catalyst 16 and a pre-catalyst 18, as well as various temperature sensors 22. Furthermore, the gas sensors 19, 20, 21, used to record at least one gas component of an exhaust gas of the internal combustion engine and to make available a signal corresponding to a gas component content of the internal combustion engine, are located in the exhaust-gas channel 12. Such gas sensors 19, 20, 21 are known and can, for example, be N0x sensors or lambda probes.

An operating mode of the internal combustion engine 14 can be controlled by means of an engine control device 24. If, for example, an operating mode with  $\lambda < 1$  (rich atmosphere) is desired, the oxygen concentration in intake duct 26 must be lowered before combusting the air/fuel mixture. The shares of the reducing-gas components in the exhaust gas are thereby increased, compared to (relative to) an oxygen share. For example, such an operating mode can be accomplished by reducing the flow of aspirated air with throttle valve 28 and simultaneous supplying oxygen-deficient exhaust gases by means of an exhaust-gas return (check) valve 30.

In an operating mode with  $\lambda > 1$  (lean atmosphere), along with N0x, also SO<sub>2</sub> is absorbed in the N0x storage catalyst 16, while, at least at low space velocities, the small shares of reducing-gas components are almost completely converted in the pre-

catalyst 18. As a function of an NO<sub>x</sub> storage-catalyst capacity and a desorption temperature of the NO<sub>x</sub> storage catalyst 16, the internal combustion engine 14 must be operated at  $\lambda \leq 1$  for the regeneration. In such an operating mode, the previously absorbed NO<sub>x</sub> is reduced on a catalytically active surface of the NO<sub>x</sub> storage catalyst 16.

Likewise absorbed SO<sub>2</sub> is stored in sulfate form in the NO<sub>x</sub> storage catalyst 16, whereby, however, contrary to the storage of NO<sub>x</sub>, a reversibility of this storage (inclusion) process requires considerably higher temperatures. Thus, a minimum desulphurization temperature and a lambda value  $\leq 1$  must be present for the desulphurization (regeneration parameter).

A desulphurization need also results from an effectiveness (efficiency) of the NO<sub>x</sub> storage catalyst 16 in terms of NO<sub>x</sub> conversion reaction. The effectiveness (efficiency) can be recorded by gas sensor 21, which measures an NO<sub>x</sub> concentration behind the NO<sub>x</sub> storage catalyst 16. In this manner, the sulphurization level and thus the efficiency can be determined based on practical values or by measuring the NO<sub>x</sub> concentration in front of the NO<sub>x</sub> storage catalyst 16--for example with at least one of the gas sensors 19, 20. An actual temperature (catalyst temperature) can be recorded on the NO<sub>x</sub> storage catalyst 16 by means of temperature sensors 22, while the actual lambda value in front of the NO<sub>x</sub> storage catalyst 16 can, in turn, be determined through at least one of the gas sensors 19 and/or 20.

The desulphurization time depends on the temperature at the NO<sub>x</sub> storage catalyst 16 and the status of the lambda value. The desulphurization time decreases with rising temperature and decreasing lambda value. Thus the temperature can clearly

be higher than the minimum temperature and can also be changed during the desulphurization in accordance with a temperature model.

At very low lambda values, the desulphurization leads to mostly  $\text{H}_2\text{S}$ , while at lambda values just under 1, mostly  $\text{SO}_2$  is formed. Since  $\text{H}_2\text{S}$  is odor-intensive, the method proposed by the invention wants to suppress its formation as much as possible. Furthermore, it is disadvantageous that at very low lambda values a complete conversion of the reducing-gas components is no longer possible and thus so-called toxic chemical breakthroughs occur. Since relative to the  $\text{SO}_2$  formation, the  $\text{H}_2\text{S}$  formation is kinetically inhibited, the  $\text{H}_2\text{S}$  formation can be restricted by means of a periodical change of the operating mode of the internal combustion engine.

Figure 2 shows, as an example, the course of a lambda value in front of and behind the  $\text{NO}_x$  storage catalyst 16. The lambda-value curve in front of the  $\text{NO}_x$  storage catalyst 16 (solid line) can be recorded by means of the gas sensor 20, while the gas sensor 21 reproduces a lambda-value curve behind the  $\text{NO}_x$  storage catalyst 16 (dashed line). When the desulphurization need is determined at time point  $T_0$  and, for example, the minimum temperature has not yet been reached, the exhaust-gas temperature can be increased during a warm-up phase  $t_0$  by at least a temporary influence of at least one operating parameter of the internal combustion engine 14. To that end, the internal combustion engine 14, normally operated in the lean mode to reduce the gas consumption, is operated with  $\lambda = 1$ , since here the temperature of the exhaust gas is higher. Such a procedure is known and will not be explained in detail here.



Upon reaching the minimum temperature at time point  $T_1$ , during the  $t_1$  phase the internal combustion engine 14 is regulated in such a way that a lambda value corresponding to a specified target value  $W_m$  is established in front of the N0x storage catalyst 16. The target value  $W_m$  should be within a lambda range of 1.02 to 4.00, preferably 1.05 to 1.7, in particular 1.15 to 1.4.

A change of the lambda value behind the N0x storage catalyst 16 occurs with a time delay. This time delay is based not only on the dead volume of the N0x storage catalyst 16 but also depends on an oxygen dislocation and an oxygen inclusion in the N0x storage catalyst 16. In an area 40, the lambda value behind the N0x storage catalyst 16 increases steeply, whereby this steepness increase can be determined by the height (level) of the target value  $W_m$ . The higher the  $W_m$ , the steeper the increase of area 40. From a time point  $T_2$  on, the lambda value behind the N0x storage catalyst 16 attains a first threshold value  $S_m$ , whereupon the internal combustion engine 14 is operated in rich mode. In turn, a target value  $W_f$  is determined for lambda in front of the N0x storage catalyst 16. The target value  $W_f$  is found in a range of  $\lambda = 0.995$  to  $0.65$ , preferably  $0.99$  to  $0.75$ , in particular  $0.98$  to  $0.85$ .

The threshold value  $S_m$  triggering the change of the operating mode can be determined by the following equation, in which, however, the threshold value  $S_m$  always has at least a value of  $\lambda = 1.01$ .

$$\text{Threshold value } S_m = 1 + F \cdot (\text{target value } W_m - 1)$$

A factor  $F$  lies in a range of  $0.2$  to  $0.99$ , preferably  $0.5$  to  $0.9$ , in particular  $0.6$  to  $0.8$ .

After the change of the operating mode from time point  $T_2$  on, for a phase  $t_2$  the NOx storage catalyst 16 is loaded with a rich atmosphere in accordance with the target value  $W_f$ . Shortly upon reaching the threshold value  $S_m$ , the lambda value briefly increases in an area 42, since the change of the operating mode behind the NOx storage catalyst 16 begins only after a time delay. In the area 44, the lambda value behind the NOx storage catalyst 16 drops sharply to a lambda value = 1 (area 46). The value close to  $\lambda = 1$  remains in area 46 until from a point 48 on, the oxygen stored in the NOx storage catalyst 16 and the SOx released at least partially in a time-overlap are reduced to such an extent that the lambda signal gradually drifts in the direction of a target value  $W_f$  (area 50).

The threshold value  $S_f$  triggering the new operating-mode change is preferably found at  $\lambda = 0.998$  to  $0.95$ , but is always greater than the target value  $W_f$  for the rich operating mode. In the latter case, it can be determined, in particular, with the following equation:

$$\text{Threshold value } S_f = \text{target value } W_f + 0.1 \cdot (1.0 \text{ target value } W_f)$$

Upon reaching or undercutting a specified second threshold value  $S_f$ , the internal combustion engine 14 is operated in a lean atmosphere, namely in accordance with the target value  $W_m$ . Depending on the volume, the lambda value behind the NOx storage catalyst 16 still drops for a short while in an area 52 and subsequently increases again in an area 54. The steepness of the increase in area 54 is determined not only by the position of the target value  $W_m$ , but also by an additional oxygen inclusion in the NOx storage catalyst 16. An oxygen storage capacity is exhausted starting from point 56 on, and therefore, the lambda value in the following area 58 increases more sharply.

The phase  $t_2$  is reintroduced from threshold value  $S_m$  on, i.e., a change to a rich atmosphere is initiated. Phase  $t_1$  and phase  $t_2$  are repeated as often as a specified sulphurization level is reached and then the internal combustion engine 14 is again switched to normal operation.

Figure 3 shows a preferred configuration of the method based on the lambda curves in front of and behind the NOx storage catalyst 16. The first two phases  $t_1$  and  $t_2$  show a curve as already described in figure 2. They were recorded again to illustrate the preferred configuration. The subsequent phase  $t_2'$  is influenced as a function of a calculated oxygen storage capacity.

The calculation of the oxygen storage capacity is executed in the known manner, taking the catalyst volume, the lambda value in front of and behind the NOx storage catalyst 16, the catalyst temperature, and the space velocity of the exhaust gas into consideration. By taking the calculated oxygen storage capacity into consideration, phase  $t_2'$  is divided in at least two sections  $t_{21}'$  and  $t_{22}'$ . The duration of section  $t_{21}'$  is selected in such a way that during this time 60% to 99% of the stored oxygen is discharged again. From a time point  $T_3$  on, a change of the operating mode of the internal combustion engine 14 occurs toward  $\lambda = 1$ , whereby the NOx storage catalyst 16 is then loaded with a lambda value corresponding to a specified target value  $W_{f2}$ .

As a result of the target value specification shifted toward  $\lambda = 1$  for section  $t_{22}'$  of phase  $t_2'$ , the steepness of the lambda-value decrease behind the NOx storage catalyst 16 in area 50 changes since--as already mentioned--it mainly depends on the status (position) of the actual target value  $W$ . However, the time-delayed lambda-value oversteer in area 52 is likewise reduced in its degree and duration. In this manner, toxic

chemical breakthroughs can be greatly reduced in this manner. In addition, due to lower oversteering, the subsequent phase  $t_1'$  is shortened so that the overall desulphurization time decreases.

The preferred division of phase  $t_2$  can to a large extent be variable as is shown, for example, for phase  $t_{21}'$  at the end of the time shaft. From a time point  $T_6$  on, the target value  $W_{f2}$  can be continuously set, so that in a section  $t_{22}''$ , a ramp-like rise of the lambda-value in front of the NOx storage catalyst 16 can be recorded. From a time point  $T_7$  on, in a section  $t_{23}''$ , the NOx storage catalyst 16 is charged with a lambda value corresponding to the target value  $W_{f2}$ . To be sure, due to the continuous change from target value  $W_{f1}$  to target value  $W_{f2}$ , the phase  $t_2''$  is slightly extended. However, this can reduce the harmful chemical breakthroughs as a result of too late a change to the target value  $W_{f2}$ , for example, due to a wrong calculation of point 48, at which the oxygen of the NOx storage catalyst 16 is discharged. Of course, the number of sections  $t$ , which together form phase  $t_2$ , can be optional. The only boundary requirement is the increase of the lambda value in the successive, individual sections  $t$ . Each individual section  $t$  is assigned a constant value or a target value  $W$ , which changes in accordance with a specified function.

Based on the sulphurization level, the desulphurization need is detected in the known manner after a specified time has elapsed or after each individual cycle (phase  $t_1$  and phase  $t_2$ ). If the sulphurization level is sufficiently low, the internal combustion engine 14 is again operated in a normal mode. However, if the unfavorable sulphurization levels continue, phases  $t_1$  and  $t_2$  are repeated. The individual sections  $t$  of phase  $t_2$  can hereby be adapted anew to the current catalyst status. In this manner,

the harmful-chemical breakthroughs and the desulphurization time can be clearly reduced.

In another configuration of the method according to the invention, along with the oxygen storage capacity, other parameters characterizing the catalyst status can be used for laying out phases  $t_2$  and  $t_1$ . The position of the target values  $W$  can be varied in each cycle as a function of an actually stored sulfur mass, a sulfur mass at the beginning of the desulphurization, the catalyst temperatures or the duration of the previous phases  $t_1$  and  $t_2$ . Likewise, the threshold values  $S_m$  and  $S_f$  can be varied as a function of the same mentioned parameters as well as the function of the target values  $W$ . An additional optimization of the desulphurization time, as well as a further reduction of toxic-chemical breakthroughs, are possible through such a dynamic adaptation to the actual catalyst status.

Furthermore, during the desulphurization it is possible to change the temperature, in particular to raise it. Such a method is known and will not be described in detail in this connection.

## PATENT CLAIMS

1. Method for the desulphurization of at least one N0x storage catalyst located in an exhaust-gas channel of an internal combustion engine with at least one gas sensor located downstream of the N0x storage catalyst, whereby, upon determining a desulphurization need, a minimum temperature at the N0x storage catalyst and a rich operating mode of the internal combustion engine with  $\lambda < 1$  through at least a temporary influence of at least one operating parameter of the internal combustion engine are set, characterized in that
  - a) in a first phase ( $t_1$ ) upon determination of a desulphurization need and the presence of the minimum temperature, the internal combustion engine (14) is initially set to a lean operating mode with  $\lambda > 1$  until a specified first threshold value ( $S_m$ ) for lambda is reached at the gas sensor (21), and
  - b) in a second phase ( $t_2$ ) after reaching the first threshold value ( $S_m$ ), the internal combustion engine (14) is operated in a rich mode with  $\lambda < 1$ , until a specified second threshold value ( $S_f$ ) for lambda is attained at the gas sensor (21); and
  - c) the first phase ( $t_1$ ) and then the second phase ( $t_2$ ) are repeated until a specified sulphurization level is reached.
2. Method as per claim 1, characterized in that during the first phase ( $t_1$ ), the internal combustion engine (14) is operated in a lean mode in accordance with at least one target value ( $W_m$ ), and during the second phase ( $t_2$ ), the internal

combustion engine (14) is operated in a rich mode in accordance with at least one target value ( $W_f$ ).

3. Method as per claim 2, characterized in that the target value ( $W_f$ ) is found in a range of  $\lambda = 0.65$  to  $0.995$ , preferably  $0.75$  to  $0.99$ , in particular  $0.85$  to  $0.98$ .
4. Method as per claim 2, characterized in that the target value ( $W_m$ ) is found in a range of  $\lambda = 1.02$  to  $4$ , preferably  $1.05$  to  $1.7$ , in particular  $1.15$  to  $1.4$ .
5. Method as per any one of the above claims, characterized in that the threshold value ( $S_m$ ), is calculated with the formula

$$S_m = 1 + f \cdot (?) - 1$$

with a factor  $f$  in a range of  $0.2$  to  $0.99$  preferably  $0.5$  to  $0.9$ , in particular  $0.6$  to  $0.8$ , whereby the threshold value is at least  $\lambda = 1.01$ .

6. Method as per any one of the above claims characterized in that the threshold value ( $S_f$ ) is calculated with the formula

$$S_f = W_f + 0.1 (?) W_f$$

and is found in the lambda range of  $0.95$  to  $0.998$ .

7. Method as per any one of the above claims, characterized in that the target value ( $W$ ) are set as a function of parameters characterizing the catalyst status.
8. Method as per claim 7, characterized in that an actually stored sulfur mass, a sulfur mass at the beginning of desulphurization, a catalyst temperature, an

oxygen storage capacity, or a combination of these are chosen as parameters for the catalyst status.

9. Method as per any one of the above claims, characterized in that the target values ( $W$ ) are determined as a function of the duration of the phases ( $t_1$  and  $t_2$ ).
10. Method as per claims 7 to 9, characterized in that the phase ( $t_2$ ) is divided into at least two sections ( $t$ ) as a function of the parameters characterizing the catalyst condition, whereby each individual section ( $t$ ) is assigned a constant target value or a target value ( $W$ ) changeable according to a specified function, and the target values increase in the successive individual sections.
11. Method as per claim 10, characterized in that the duration of the individual sections ( $t$ ) is determined as a function of the parameters characterizing the catalyst condition.
12. Method as per claim 11, characterized in that the duration of a first section ( $t_{21}$ ) of phase ( $t_2$ ) is determined so that during this time 60% to 99% of an oxygen mass stored in the  $\text{NO}_x$  storage catalyst (16) is desorbed.
13. Method as per any one of the above claims, characterized in that the desulphurization is temperature-modulated.



THIS PAGE BLANK (USPTO)

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**